UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

LA PERCEPTION DE L'OFFRE PAR LES USAGERS DU TRANSPORT EN COMMUN, SOUS LA PERSPECTIVE D'UN MODÈLE D'AFFECTATION

par

Robert Chapleau* et Joaquin de Cea*

*Ecole Polytechnique de Montréal, Section Génie des transports

Soumis pour présentation à la CONFÉRENCE MONDIALE SUR LA RECHERCHE DANS LES TRANSPORTS, tenue à Hambourg du 26 au 29 avril 1983.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publicaction #293
Décembre 1982

Dépôt légal - 2e trimestre 1983

SOMMAIRE

Dans le but d'identifier les principales sources d'erreurs associées à l'utilisation des modèles d'affectation des déplacements sur un réseau de transport collectif urbain, une étude empirique de grande envergure a été entreprise. Fait unique, les grandes enquêtes Origine-Destination, réalisées par le service d'Aménagement du réseau de la Commission de transport de la communauté urbaine de Montréal, comportent, comme réponses, les choix réels des lignes de transport collectif empruntées par les usagers. Une analyse comparative de ces itinéraires décrits avec des itinéraires simulés -- simulations réalisées à l'aide d'un modèle d'affectation tout-ou-rien particulièrement flexible (permettant de tester différentes politiques d'accès et de diversion)--, apporte quelques conclusions intéressantes: (a) à l'exclusion du problème d'agrégation spatiale, un modèle d'affectation tout-ou-rien, appliqué à l'aide d'une fonction d'impédance bien calibrée, est capable de reproduire plus de 80% des itinéraires observés; (b) la fonction d'impédance la plus couramment utilisée, qui consiste à estimer le temps d'attente comme égal au demi-intervalle, comporte des effets pervers sur le chargement d'un réseau, privilégiant, en particulier, les modes lourds de transport; (c) le phénomène de l'accès, dû au problème de l'agrégation spatiale, semble être la principale source d'erreurs d'un modèle d'affectation des déplacements sur un réseau de transport en commun; (d) on suppose alors qu'un modèle d'affectation, muni de possibilités de diversion s'appliquant au niveau de l'accès, pourrait être utilisé pour pallier à certaines déficiences intrinsèques des données échantillonnales qui caractérisent la demande de transport.

ABSTRACT

This paper presents the results of a large empirical study of the major sources of error in the use of transit network assignment models. Origin-Destination surveys, executed by the Service Planning Department of the Montreal Urban Community Transit Commission, contain data on the real route choice of transit users. The comparison of declared routes and simulated routes generated using a flexible all-or-nothing assignment model, produces some interesting conclusions: (a) when the spatial aggregation effect is ignored, an all-or-nothing assignment method applied with a well-calibrated impedance function is capable of reproducing more than 80% of the observed paths; (b) the popular impedance function, that models the waiting time as half the headway, has detrimental effects on the network assignment results, especially in terms of overloading the heavy tranport modes; (c) the access phenomenon (due to the spatial aggregation problem) seems to be the assignment model's primary source of error, within a transit network; (d) it is conjectured that an assignment model with diversion capability at the access level may compensate for some deficiencies in the sampled demand data.

An abridged English version of this paper is appended at the end of the French version.

LA PERCEPTION DE L'OFFRE PAR LES USAGERS DU TRANSPORT EN COMMUN, SOUS LA PERSPECTIVE D'UN MODELE D'AFFECTATION

par
Robert CHAPLEAU, Ing., Ph.D.,
professeur agrégé,
Ecole Polytechnique de Montréal,
C.P. 6079, succursale "A",
Montréal, PQ
Canada H3C 3A7

et
Joaquin DE CEA, Ing., Ph.D.,
professeur,
Université catholique du
Chili, Casilla 114-D,
Santiago, Chili

INTRODUCTION

Il n'est pas nécessaire de rappeler l'importance des modèles d'affectation dans la planification des systèmes de transport urbain. Ils constituent, en effet, des instruments privilégiés pour l'évaluation d'alternatives lors de l'élaboration de projets d'investissement ou, encore, de réaménagement de réseau. On dispose d'ailleurs de nombreux logiciels (UTPS (1), EMME/2 (2,3), TRANSEPT (4), NOPTS (5), TRANSCOM (6), etc...) qui facilitent la tâche de traitement d'ensembles de données de très grande taille . Chacun de ces modèles a ses caractéristiques et ses avantages propres, mais tous font appel à une même méthodologie générale, à savoir:

- le découpage d'un territoire d'étude en de petites entités géographiques dont les activités sont considérées comme se faisant au centroïde de la zone,

- la codification relativement détaillée du réseau de transport , --représentation de l'espace de manoeuvre des véhicules, et, par conséquence, de la majorité des mouvements permis aux usagers du système --,

- la caractérisation précise, pour une période de temps donnée, de la demande de transport, sous forme d'une matrice de déplacements origine-destination de zone à zone, souvent acquise par la réalisation d'une lourde enquête-ménages produite à un taux échantillonnal pouvant aller de 4 à 20 pour cent.

A ces trois volets, s'ajoutent, selon la stratégie choisie, les problèmes de la détermination de l'accessibilité au réseau (lien reliant le centroïde de la zone à son point d'accès --entrée ou sortie-- sur le réseau) et du cheminement dans le réseau (séquence des liens/lignes et noeuds de correspondances empruntés par l'usager). De multiples difficultés se posent ici à propos de ce qu'il est convenu d'appeler la représentation fidèle du comportement de l'usager , ou réciproquement, la simulation, dans un modèle d'affectation, de la perception de l'offre des usagers de transport.

En ce qui concerne la simulation des déplacements sur un réseau routier , la décennie 70 a vu de nombreux développements méthodologiques qui ont permis de passer de l'utilisation de procédures de type tout-ou-rien (distribution du flot dans le réseau indépendante des flots ou de la capacité), améliorées par l'adjonction de contraintes de capacité ou par une approche

probabiliste multi-chemin (7), jusqu'à l'emploi de méthodes d'équilibre (8) (affectation descriptive ou normative faisant intervenir les principes de Wardrop). On s'entend pour dire que ces dernières méthodes fournissent de meilleurs résultats et correspondent à des hypothèses de comportement des usagers plus cohérentes avec les théories économiques normalement admises.

En ce qui touche la simulation sur un réseau de transport en commun, le parallèle est beaucoup plus laborieux à effectuer; en effet, la modélisation du déplacement de l'usager exige implicitement une représentation explosée du réseau afin de tenir compte des correspondances, préalable à la transposition des méthodes d'affectation. Compte tenu de cette difficulté supplémentaire associée au transport collectif, faut-il, comme pour un réseau routier, modéliser les phénomènes de congestion, tenir compte de la capacité des véhicules, faire de la diversion ou s'en tenir tout simplement à une affectation tout-ou-rien?

C'est à cette question que tente de répondre cette recherche, fondée sur une étude empirique de grande envergure, qui utilise les résultats d'enquêtes (deux enquêtes O/D comportant chacune environ 15 000 itinéraires individuels effectués sur un réseau de transport en commun pendant une période de pointe) afin de situer les sources d'erreurs associées à la modélisation des déplacements en transport collectif urbain. La comparaison systématique des itinéraires décrits par les personnes enquêtées et simulés par une procédure conventionnelle (calcul du chemin le plus court en fonction d'un certain ensemble de coefficients appliqués à la fonction d'impédance) permet d'apprécier deux aspects:

- l'incidence du problème d'agrégation spatiale sur les performances d'un modèle d'affectation tout-ou-rien,
- la justesse des hypothèses normales faites quant au comportement des usagers face à l'offre de transport.

LABORATOIRE D'ETUDE

Les diverses expérimentations, dont il sera fait état, ont été réalisées à partir d'un véritable "laboratoire de données", développé au service de la planification de la Commission de transport de la communauté urbaine de Montréal (C.T.C.U.M.). Ce laboratoire regroupe, à la fois, des données extensives sur la demande de transport (9,10) (obtenues depuis de grandes enquêtes régionales Origine-Destination exécutées à tous les quatre ans), des données détaillées sur la définition des réseaux de transport collectif urbain qui sont offerts à la population et enfin, des instruments d'analyse --modèles d'affectation-- qui permettent de vérifier, valider et mesurer différentes interactions. Pour bien apprécier ce contexte, il est nécessaire de décrire l'ampleur de chacun de ces trois éléments:

a) les enquêtes Origine-Destination: le service sus-mentionné procède, auprès d'une population de près de 3 000 000 de personnes sur un territoire de 2 300 kilomètres carrés, à une enquête téléphonique chez un échantillon aléatoire de 5 pourcent des ménages. Donc, près de 55 000 logis sont effectivement

interviewés et fournissent des informations relatives à tous les déplacements effectués dans une journée de semaine par chacun des individus membres du ménage. En plus des données sur la possession automobile, l'âge et le sexe des individus, chaque déplacement se caractérise par sa zone d'origine, sa zone de destination, son heure de départ ou d'arrivée ainsi que son motif (travail, étude, magasinage, loisirs, autres ou retour à domicile) et son mode emprunté (automobile conducteur, automobile passager, transport en commun, taxi, train, à pied). Une singularité manifeste de cette enquête réside dans le fait que, lorsque le mode de transport en commun est utilisé, l'individu enquêté est interrogé sur son itinéraire complet, à savoir, la liste des lignes d'autobus et de métro qu'il emprunte au cours de son déplacement.

Pour le seul territoire de la Communauté urbaine de Montréal, auquel correspond approximativement le réseau de desserte de la C.T.C.U.M., les données de l'enquête O/D réalisée en 1978 nous fournissent les renseignements suivants sur la mobilité des Montréalais:

- population de 1 900 000 personnes,
- 2.67 personnes par logis,
- 0.84 autos par logis,
- 0.94 déplacements par personne par jour (à l'exclusion des retours à domicile),
- motifs de déplacement: travail (42%), études (23%),
- modes de transport: auto (48%), CTCUM (31%),
- achalandage annuel en transport en commun, réseau de la CTCUM: environ 300 000 000 voyageurs, soit 1 000 000 voyageurs pour un jour moyen de semaine,
- le tiers de ces voyageurs, soit quelque 330 000 usagers, se déplacent sur le réseau pendant la période de pointe du matin (6:00 à 9:00); avec un facteur d'expansion de 18.86, on peut compter sur un échantillon de 17 000 itinéraires déclarés.

Le territoire d'enquête a été subdivisé en 1 284 zones, suivant un découpage allant de fin (une zone pour chaque générateur de déplacements important, au centre-ville) à grossier (municipalité rurale). La figure 1 illustre la finesse du découpage.

b) le réseau de transport en commun: le réseau de la C.T.C.U.M., dont le territoire de desserte, en 1978, était d'une superficie de 370 kilomètres carrés, comprend 3 lignes de métro et quelques 131 lignes régulières de surface (autobus). Près de 1 000 noeuds sont nécessaires pour décrire les points de correspondance, dont 43 stations de métro. La définition des tracés des lignes impliquent environ 5 000 liens orientés, pour une longueur de couverture de réseau de 2 240 kilomètres. Un dessin des lignes d'autobus et de métro du réseau 78 apparait à la figure 2.

c) le modèle d'affectation: les deux ensembles de données décrits plus haut ont besoin d'un interface informatique pour s'intégrer mutuellement, que ce soit pour déterminer des temps de transport comme attributs des déplacements ou encore, que ce soit pour connaître la distribution des volumes sur les différents tronçons du réseau. Cette dernière fonction correspond

bien à ce qu'on entend comme modèle d'affectation des déplacements sur un réseau de transport collectif. Pour nos besoins d'étude, nous avons utilisé la suite des logiciels MADITUC/TRANSCOM (11) pour représenter informatiquement le réseau de transport collectif ainsi que pour réaliser les étapes d'accès automatique (liaison centroïdes-noeuds), calcul des chemins les plus courts, validation des itinéraires ainsi que chargement des voyageurs sur le réseau suivant une affectation tout-ou-rien, d'où on dérive les principaux indicateurs agrégés de la simulation.

LA NOTION D'ITINERAIRE

Le concept de base, autour duquel tourne toute notre expérimentation, est celui d'ITINERAIRE de transport urbain collectif. Il est, de fait, question de DEPLACEMENT effectué par un individu sur le seul réseau de transport en commun, depuis une zone d'origine jusqu'à une zone de destination. Cette notion est illustrée à la figure 3a. On y dénote, suivant le traitement habituel effectué par le modèle d'affectation, les centroïdes des zones d'origine et de destination du déplacement, des liens d'accès au réseau --tant à l'entrée qu'à la sortie du déplacement--, des noeuds de correspondance ainsi que la séquence des lignes de transport en commun empruntées. Ces informations sont conservées suivant le format illustré à la figure 3b, incluant les diverses composantes de temps retenues respectivement pour l'accès, l'attente et le transport.

Quelques définitions sont nécessaires ici pour situer différents niveaux d'information. On devra donc distinguer, pour un itinéraire donné, entre les notions suivantes:

- la réponse, i.e. l'itinéraire tel que déclaré par la personne interviewée lors de l'enquête et qui comporte essentiellement les informations sur les zones d'origine et de destination ainsi que la séquence des lignes empruntées (L1, L2, ..., Lk) où k est le nombre de sections de lignes utilisées;

- l'itinéraire décrit, qui consiste en un itinéraire complet reconstitué à partir de la réponse; de fait, afin de rendre l'itinéraire compatible avec les modules d'affectation sur un réseau, un programme de validation construit l'itinéraire le plus probable --i.e. détermine les noeuds d'accès les plus proches au début et à la fin du déplacement ainsi que les noeuds de correspondance entre les lignes suivant le chemin à temps minimum conditionnel à l'emprunt des lignes décrites--;

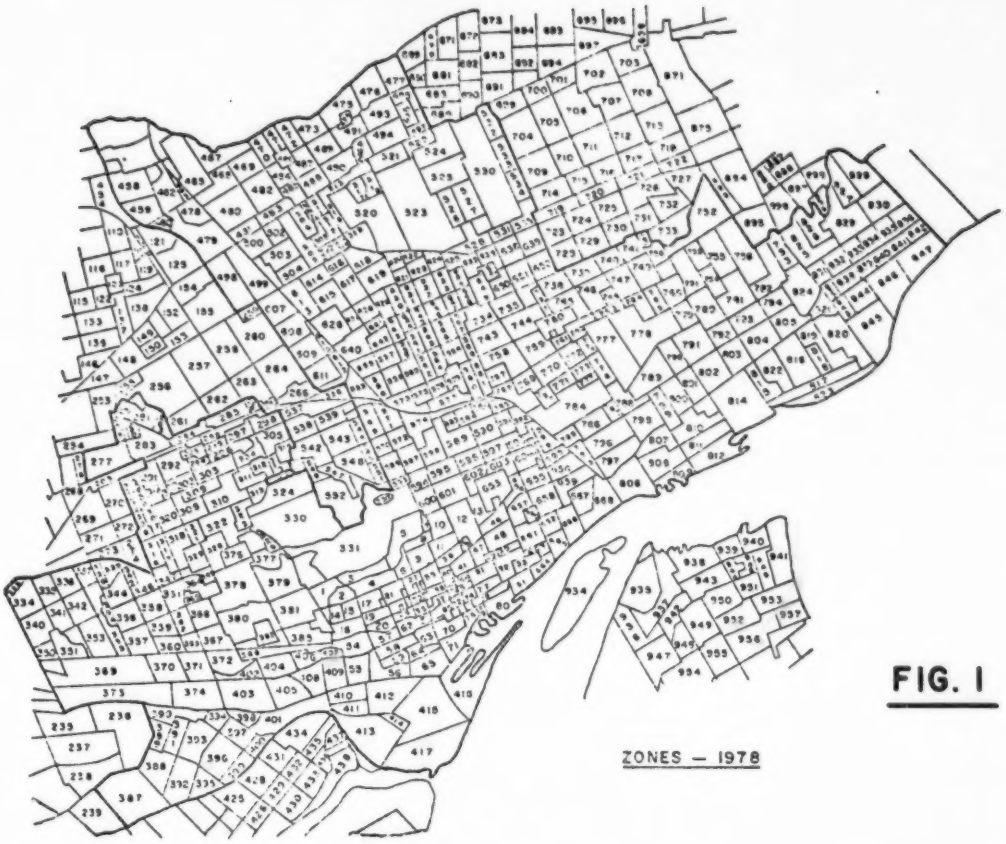


FIG. 1

ZONES — 1978

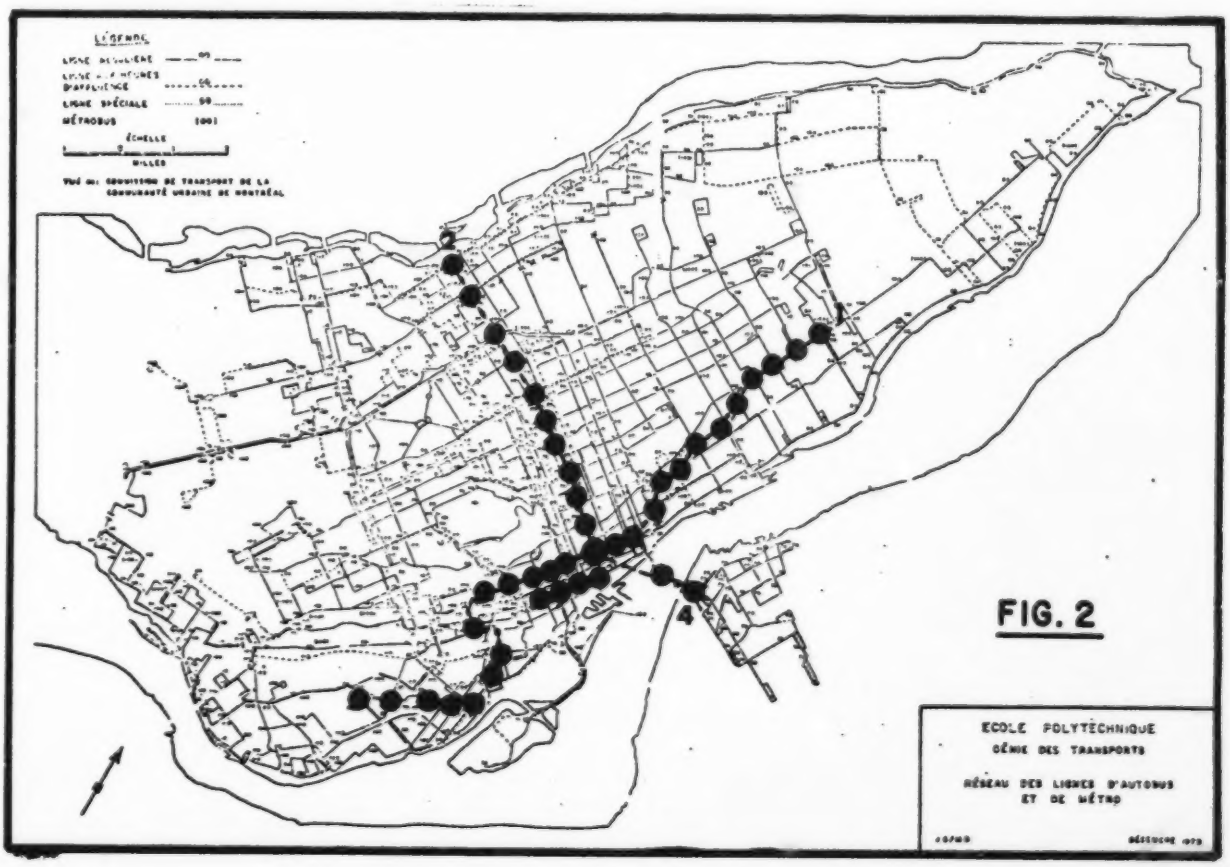
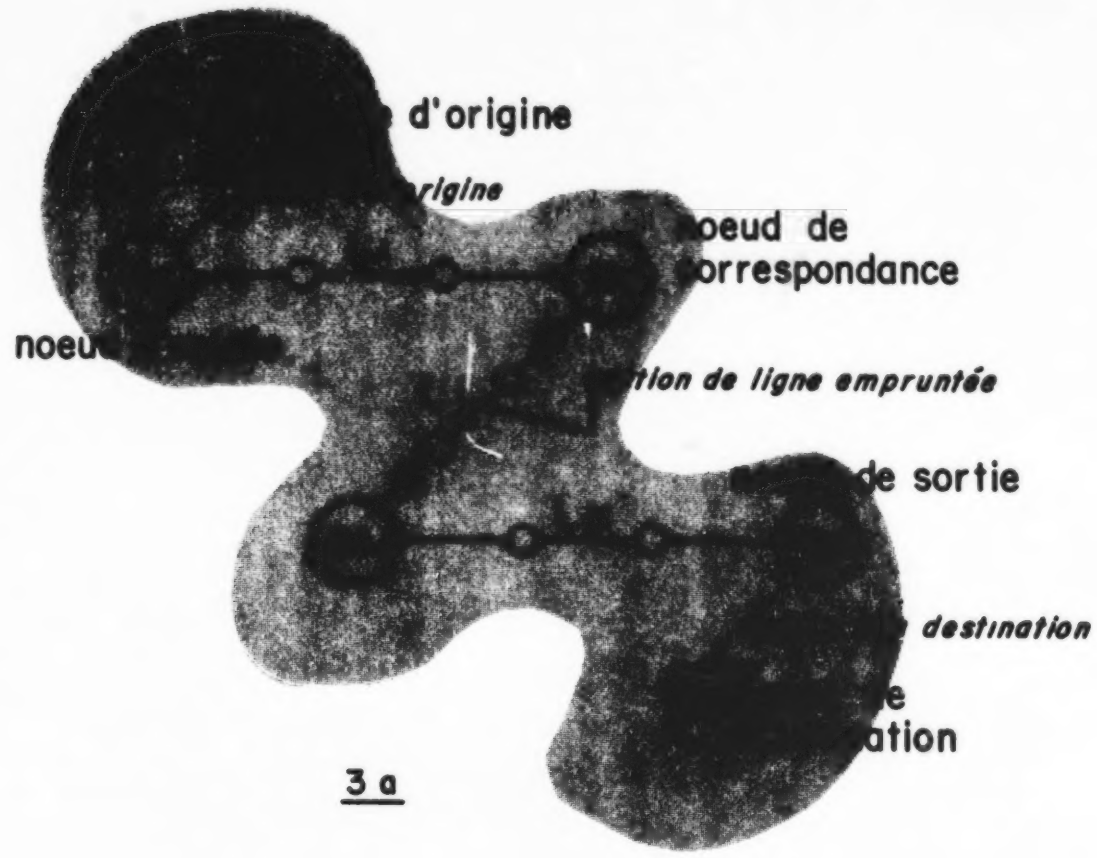
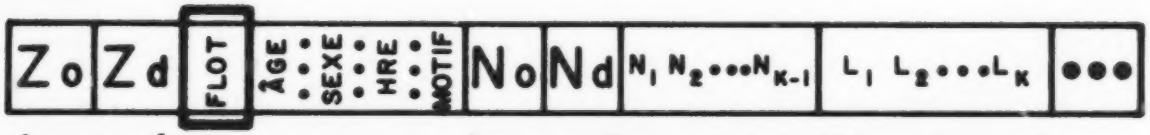


FIG. 2



3 a



3 b

FIG. 3 — ITINERAIRE

- l'itinéraire simulé est essentiellement un itinéraire obtenu par l'emploi d'un algorithme de plus court chemin, étant donnée une certaine fonction d'impédance qui fait intervenir les temps de marche, d'attente et de transport ainsi que des pénalités de correspondance; les calculs d'arbre peuvent être initiés tant à partir d'un noeud du réseau que d'un centroïde de zone; l'algorithme peut, si désiré, tenir compte des tronçons communs (sections de lignes partagées par plusieurs tracés); pour ce cas, il y aura lieu de distinguer encore entre des itinéraires égaux (mêmes ensembles de lignes), communs (mêmes ensembles de noeuds, mais au moins une ligne différente) et différents (au moins un noeud et une ligne diffèrent).

Dans les données de base, on distingue encore, lorsqu'on considère un déplacement entre une paire de zones, entre un itinéraire simple, où une seul voyageur échantillonné se déplace (donc, évidemment, un seul itinéraire décrit apparait entre ces deux points), et un itinéraire multiple, où plus d'une personne se déplacent entre Zo et Zd; dans ce dernier cas, les usagers peuvent ou non utiliser les mêmes ensembles de lignes, et en conséquence, les itinéraires seront qualifiés respectivement de multiples identiques ou de multiples différents.

A cet égard, selon une analyse faite sur les données d'enquête O/D de 1974, on relève 15 599 déplacements TC échantillonnés durant la période de pointe du matin. Avec 1182 zones, seulement 12 452 cellules de la matrice sont non-nulles, soit un taux d'occupation inférieur à 1 pourcent. Le tableau suivant (no. 1) illustre la distribution complète des itinéraires simples et multiples ainsi que la répartition de ceux qui sont identiques et différents. Si on définit l'itinéraire déclaré le plus fréquemment comme "le plus court" --selon le principe que la réponse observée se doit d'être reproduite avant toute autre--, on peut calculer, approximativement, un indicateur de "multicheminement". Par exemple, si 3 déplacements sont effectués entre une paire de zones et qu'on observe que deux chemins ont été empruntés, on déclare les chemins les plus fréquents (67%) comme "les plus courts", ou autrement dit, on détermine un indicateur de "multicheminement" égal à 33%, soit la proportion des chemins empruntés autres que le chemin le plus court; si on a 4 déplacements répartis en 2 chemins, l'indicateur sera approximé (à partir d'une hypothèse d'équiprobabilité des possibilités de partitionnement) à 37.5%.

ndep	DEPtot	IT.I	IT.D2	IT.D3	IT.D4	IT.D5	% PCC
1	10572	10572					1.00
2	2680	853	487				.82
3	942	153	127	34			.79
4	396	33	46	15	5		.71
5	210	19	13	6	3	1	.77
6	120	9	6	3	2		.77
7	84	4	7	1			.80
8	80	4	3	3			.78
9	99	3	4	3	1		.73
10	60	1	1	3	1		.67
11	55	2	1	1	1		.76
12	108	3	3	1	2		.75
13	65	4	1				.95
14	14	0				1	.46
15	30	2					1.00
17	17	0	1				.74
22	44	1	1				.88
23	23	1					1.00
ITIN:	12452	11664	701	70	15	2	****
DEPL:	15599	13277	1858	321	101	19	****
	% dep	.85	.12	.02	.01	.00	****
% itinéraires référence.....							.9335

Tableau 1. Itinéraires simples, multiples, identiques et différents.

Si on ne s'en tient qu'aux itinéraires multiples, on estime un indice général de "multicheminement" de l'ordre de 20% (notons que, pour la compilation actuelle, les itinéraires communs sont considérés comme différents). Sur l'ensemble total des données, les itinéraires virtuellement non reproductibles sans diversion représentent une part de l'ordre de 6.5% de tous les déplacements considérés.

L'analyse détaillée des itinéraires a porté sur les données relatives à l'enquête de 1978, à savoir, les déplacements effectués pendant la période de pointe du matin sur le réseau de transport collectif de la C.T.C.U.M. Une première analyse sommaire des itinéraires décrits nous indique d'ailleurs un nombre moyen de lignes empruntées de l'ordre de 1.92; le tableau suivant, basé sur un nombre total de déplacements de 332 000 échantillonnés à 5.3%, explicite la distribution des déplacements selon le nombre de sections empruntées et les sous-modes utilisés.

nombre SECTIONS	METRO	AUTOBUS	métro/ autobus	TOTAL
1	7.3	25.5	-	32.8
2	5.3	20.5	18.1	43.9
3	-	4.4	14.6	19.1
4	-	0.3	3.9	4.2
5	-	-	0.1	0.1
%	12.6	50.7	36.6	100.0

Tableau 2. Distribution réelle des déplacements.

L'EXPERIMENTATION

Avec l'ensemble de données ci-haut décrit ainsi que les instruments disponibles, il devient, en effet, possible d'examiner quelques questions intéressantes:

- le comportement des usagers d'un système de transport en commun suit-il raisonnablement les hypothèses faites dans l'emploi d'une affectation tout-ou-rien?

- les erreurs de reproduction viennent-elles du choix du chemin à emprunter entre deux points sur le réseau ou, possiblement, du choix de points d'accès différents? les problèmes viennent-ils du choix de l'algorithme (plus court chemin, multichemin, équilibre), de la calibration des paramètres de la fonction d'impédance ou de l'agrégation spatiale (taille des zones, géométrie du réseau piétonnier, importance de la marche...)?

Pour tenter de distinguer entre ces causes d'erreurs, il faut procéder à un ensemble d'expériences qui font intervenir les itinéraires décrits (réponses validées et rendues compatibles au traitement d'un algorithme d'affectation) comme observations de référence. D'autre part, on se doit d'utiliser un modèle de simulation qui permette de réaliser une affectation sur le réseau soit, à partir d'une matrice O/D noeud à noeud (faisant abstraction de l'accès), soit à partir d'une matrice O/D zone à zone où on peut faire intervenir diverses stratégies d'accès. De plus, il est nécessaire de pouvoir expérimenter différents comportements des usagers, lesquels sont pris en charge par une fonction d'impédance qui peut tenir compte de nombreux facteurs:

- le temps de transport à bord des véhicules,

- le temps d'attente qui dépend de l'intervalle moyen d'une ligne, corrigé par un facteur de régularité, borné par des valeurs minimale et maximale, auquel on ajoute une pénalité de correspondance, laquelle peut enfin être ajustée en fonction d'un sous-mode (métro ou autobus);

- le temps d'accès caractérisé par la vitesse moyenne de

marche et la distance séparant le centroïde de la zone et le noeud d'entrée ou de sortie du réseau.

Chacune de ces composantes est enfin affectée du facteur de pondération habituel. Ainsi la formule générale de l'impédance d'un itinéraire devient:

$$a0*(TAo+TAd)+\sum_{j=1}^{k}(TVj+a4*\min(\max(a1,a2*Ij),a3)+a5*Pj)$$

où:

k : nombre de sections de lignes empruntées
TAo : temps d'accès à l'origine
TAd : temps d'accès à la destination
TVj : temps de transport à bord des véhicules sur la ligne j
Ij : intervalle moyen de la ligne j
Pj : pénalité de correspondance associée à la ligne j (valeur type = 5 min.)
a0 : coefficient d'impédance relié à l'accès (vt = 2)
a1 : temps minimum d'attente (vt = 2 min.)
a2 : facteur de conversion entre l'intervalle et le temps d'attente (si la régularité est parfaite, vt = 0.5)
a3 : valeur maximale de temps d'attente (vt = 15 min.)
a4 : coefficient d'impédance appliqué au temps d'attente (vt = 2)
a5 : facteur de perception de la pénalité de correspondance (vt = 0.5 pour le sousmode métro)

Dans ce contexte, la stratégie d'analyse comporte cinq grands volets qui mettent en jeu une comparaison des itinéraires décrits avec plusieurs séries d'itinéraires simulés.

ler volet: calibrage de la fonction d'impédance

Le premier objectif à poursuivre consiste à déterminer, à l'exclusion du problème de l'accès, les coefficients de la fonction d'impédance qui reproduisent le mieux les itinéraires décrits. Cette opération revient à exécuter diverses simulations à partir d'une matrice O/D noeud à noeud. Les critères de mesure de la reproductibilité des itinéraires décrits peuvent être fondés tant sur le nombre maximal de coïncidences que sur le comportement de certains indicateurs agrégés (achalandage global de chaque sous-mode, nombre moyen de sections empruntées, temps moyen de voyage). Le tableau suivant fait état des résultats obtenus à partir de 5 simulations qui font usage de fonctions d'impédance intéressantes.

Simulation Variable	DECRITS	1 I/2	2 I	3 I/2+5	4 I+5	5 compl
sections/ déplacement	1.917 (100)	2.110 (110)	1.998 (104)	1.888 (98)	1.875 (98)	1.901 (99)
passagers métro	161k (100)	183k (114)	177k (110)	164k (102)	163k (101)	171k (106)
% corr. mét-mét	31.4 (100)	29.1 (93)	28.3 (90)	26.4 (84)	26.2 (83)	27.9 (89)
sections autobus	419k (100)	458k (109)	430k (103)	414k (99)	411k (98)	407k (97)
%itin EGAUX	--	61.8	67.3	71.4	72.4	72.5
% COMMUNS	--	7.8	7.6	8.4	7.6	7.7
% DIFFERENTS	--	30.4	25.1	20.2	20.0	19.8
r2 T.TOTAL	--	.92	.92	.94	.92	.92
r2 T.HORSV	--	.59	.71	.83	.83	.83

Tableau 3. Effet de la fonction d'impédance, sans accès.

Une conclusion rapide peut être établie ici: les meilleurs coefficients de la fonction d'impédance, qui ont d'ailleurs été retenus pour la plupart des essais faits par la suite, proviennent de la simulation 4, i.e. "I+5". Un essai supplémentaire a été ajouté; il n'est pas relaté dans le tableau ci-haut. Comme ces simulations sont effectuées à partir d'une matrice O/D virtuelle de noeud à noeud, certaines erreurs peuvent être introduites par le niveau de résolution de la codification du réseau; pour apprécier, indépendamment, cette présumée source d'erreur, nous avons réalisé une affectation, pour les itinéraires non reproduits, avec accès au lien plutôt qu'au noeud. Pour la simulation avec "I+5", le nombre d'itinéraires reproduits (égaux ou communs), à l'aide d'un algorithme du "plus court chemin", passe de 80% à 88%. Ce résultat confirme la validité de l'utilisation d'une affectation tout-ou-rien lorsqu'on court-circuite le problème de l'accès.

2e volet: étude du comportement des usagers

La deuxième étape consiste en une tentative d'explication du comportement des usagers: la reproduction des itinéraires par un certain ensemble de paramètres de la fonction d'impédance est-elle influencée par des variables comme le sexe, l'âge, la localisation de la résidence, le motif de déplacement, les sous-modes empruntés, le nombre de sections de lignes...? Aucune des variables sociologiques ne s'est révélée significative; pour les autres, il est clair que les déplacements faits par le seul mode métro sont systématiquement bien reproduits; l'explication tient, pour l'essentiel, du dernier phénomène examiné, à savoir, l'effet du nombre de sections de lignes sur

la non reproduction des itinéraires.

La figure qui suit montre une relation presque parfaitement linéaire entre le nombre de sections et le pourcentage d'itinéraires différents, quelle que soit la fonction d'impédance testée.

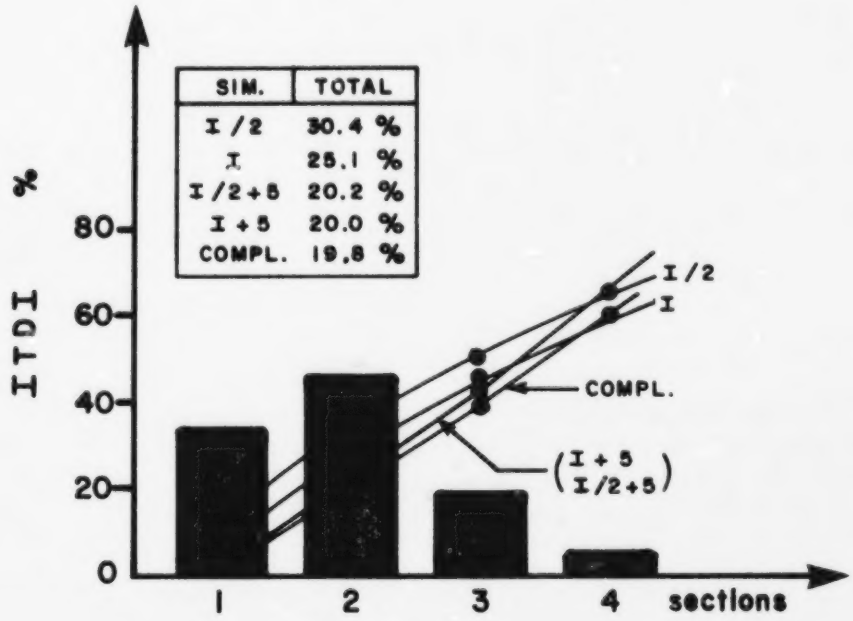


Figure 4. Itinéraires différents vs nombre de sections du déplacement.

3e volet: test d'une méthode d'accès aveugle

L'étude de transport de Montréal comporte, on l'aura sans doute remarqué, un découpage du territoire ainsi qu'une définition de réseau qui manifestent un niveau de résolution du même ordre de grandeur: un nombre de noeuds à peu près égal au nombre de centroïdes pour le territoire desservi par la C.T.C.U.M. Dans ce contexte, il devient intéressant de tester l'effet d'une méthode d'affectation impliquant un accès automatique totalement aveugle. Pour ce faire, il suffit, au départ, d'assigner à chaque itinéraire --caractérisé par une paire de centroïde Zo et Zd-- les noeuds du réseau respectivement les plus proches; ces noeuds, No et Nd, constituent alors les nouvelles origine et destination de l'itinéraire sur le réseau, entre lesquelles on applique l'algorithme du chemin le plus court.

Incidemment, pour ce test ainsi que pour ceux qui vont suivre, les paramètres de la fonction d'impédance retenus sont ceux qui correspondent au meilleur résultat obtenu lors de l'étape de calibrage, à savoir: I+5. Voir le tableau final à la suite du volet 5.

4e volet: chargement conventionnel de zone à zone

Conventionnellement, l'affectation des déplacements sur un réseau se fait de centroïde à centroïde; cette méthode comporte, le plus souvent, la codification manuelle de liens artificiels d'accès; de ce fait, cette activité est difficile à normaliser et à contrôler. Avec la suite de programmes MADITUC-/TRANSCOM, on modélise un accès automatique, contrôlé par des paramètres globaux (distance maximale, vitesse de marche, nombre maximal de liens, ...) avec possibilité d'intervention ponctuelle. Un réseau d'accès étant ainsi implicitement généré, l'algorithme du plus court chemin est appliqué pour la détermination du meilleur itinéraire depuis Zo jusqu'à Zd. C'est la méthode d'affectation traditionnelle tout-ou-rien; à cause de son intérêt particulier, on trouvera dans le tableau final, en sus du calcul avec I+5, une affectation avec I/2 --si souvent utilisé en pratique--.

5e volet: chargement avec diversion "logit"

Une sophistication peut être introduite dans un contexte d'utilisation d'un algorithme du plus court chemin; il suffit de décomposer le problème en trois étapes: accès à l'origine, cheminement sur le réseau, accès à la destination. Nos itinéraires de départ (17 000) sont ici expansionnés (80 000) selon les diverses possibilités d'accès générées tant à l'origine qu'à la destination (à un Zo peut correspondre de 1 à 4 No, et symétriquement pour Zd et Nd); ensuite, les itinéraires sont triés selon No pour fins d'application de l'algorithme du plus court chemin, d'où détermination des temps T(No,Nd); après, on procède au regroupement original des itinéraires, ce qui permet alors d'affecter le flot entre Zo et Zd suivant une diversion entre toutes les alternatives disponibles pour lesquelles sont connues les temps totaux de transport, i.e. T(Zo,No) + T(No,Nd) + T(Nd,Zd). Sur ce mini-réseau, on applique la méthode d'affectation multichemin de Dial, à savoir, une fonction logistique avec paramètre de diversion Θ. Les deux tests retenus dans le tableau suivant sont le résultat de l'application de Θ=0 (diversion maximale) et Θ=1.5 (le meilleur pour la reproduction des indicateurs agrégés).

LE TABLEAU DES RESULTATS

Le tableau suivant contient les indicateurs agrégés correspondant à l'affectation complète des 332 000 déplacements (17 000 itinéraires enquêtés) effectués durant la période de pointe du matin, sur le réseau de la C.T.C.U.M., en 1978. On a retenu 8 situations, qui constituent les meilleures et les plus typiques de chaque classe de simulations; on y retrouve:

'DECRI', le chargement des itinéraires décrits sur le réseau, la comptabilité des temps se faisant selon la fonction d'impédance caractérisée par I + 5, i.e. temps d'attente égal au plein intervalle et pénalité de correspondance de 5 minutes, sauf indication contraire explicite;

'SIMUL', le chargement des itinéraires simulés --calculés par un algorithme du plus court chemin selon la fonction d'impédance mentionnée-- de noeud à noeud sur le réseau, donc, à l'exclusion de l'accès; les noeuds No et Nd utilisés proviennent des itinéraires décrits;

'S-I/2', le chargement des itinéraires simulés de noeud à noeud, mais avec la fonction d'impédance traditionnelle, I/2; ceci permet d'apprécier l'influence de l'erreur "pure" introduite par un mauvais choix de fonction d'impédance;

'ACaPP', le chargement des itinéraires simulés de noeud à noeud, après avoir procédé à un accès aveugle; ceci constitue une affectation en deux étapes; on assigne à chaque centroïde le noeud le plus proche, sans aucun discernement en regard des autres composantes du déplacement entier;

'C-Cal', le chargement des itinéraires simulés de centroïde à centroïde, avec pondération du temps d'accès égale à 1.0 (a0=1.0 a obtenu le maximum de coïncidences par rapport à d'autres valeurs allant de 0.0 à 2.5); le temps d'accès utilisé était proportionnel à la distance séparant le centroïde du noeud d'accès;

'CCI/2', chargement analogue au précédent, mais avec la fonction d'impédance I/2;

'DIV-0', chargement des itinéraires avec diversion au niveau de l'accès; ici, un facteur de diversion Θ=0.0 a été utilisé; les 17 442 itinéraires originaux ont conduit au chargement de 78 815 itinéraires; d'autres essais ont montré des expansions respectives de (Θ=-0.2) 61 213, (Θ=-0.5) 39 388, (Θ=-0.8) 31 462 et (Θ=-1.5) 25 088;

'D-1.5', chargement analogue au précédent, mais faisant intervenir un facteur Θ égal à -1.5.

Les indicateurs retenus sont de deux ordres. Les premiers concernent des mesures de coïncidences obtenues entre les itinéraires simulés et décrits. Les seconds reflètent des résultats agrégés des simulations. Plus précisément, il est question de:

'ITEG': % d'itinéraires égaux,
'ITCO': % d'itinéraires communs,
'ITDI': % d'itinéraires différents,
'r2TOT': corrélation entre les temps totaux de transport,
'r2HOR': corrélation entre les temps hors véhicule,

't.m.v.': temps moyen de voyage sur le réseau, calculé en minutes selon la fonction d'impédance I+5,
'nsect ': nombre de sections empruntées,
't.att.': temps d'attente (min.),
'dist. ': distance moyenne parcourue sur le réseau (km),
'METRO ': nombre total d'usagers empruntant le sous-mode métro, en milliers (k)
'p.C-MM': proportion des usagers faisant une correspondance métro-métro,

'L1,L2,L4': nombres respectifs d'usagers des lignes 1, 2 et 4 du métro,
't.v.v.': temps moyen de voyage à bord des véhicules (min.),
'vit.v.': vitesse moyenne des véhicules empruntés (km/h),
'tatt-I': somme moyenne des intervalles des lignes empruntées (min.).

variable	base DECRI	noeud*noeud SIMUL	noeud*noeud S-I/2	ACaPP	zone*zone C-Cal	zone*zone CCI/2	diversion DIV-0	diversion D-1.5
ITEG	--	72.4	61.8	24.3	35.3	26.9	--	--
ITCO	--	7.6	7.8	2.4	4.3	4.0	--	--
ITDI	--	20.0	30.4	73.3	60.4	69.1	--	--
r2TOT	--	.92	.92	.67	.74	.81	--	--
r2HOR	--	.83	.59	.29	.41	.26	--	--
t.m.v.	35.7	34.2	35.3	41.2	36.4	38.9	42.3	37.2
nsect	1.92	1.88	2.11	2.37	2.06	2.46	2.63	2.27
t.att.	16.2	15.7	17.6	21.0	17.4	20.7	22.6	18.8
dist.	7.21	7.06	7.07	7.47	7.22	7.25	7.55	7.19
METRO	161k	163k	183k	156k	161k	184k	178k	180k
p.C-MM	.314	.262	.291	.205	.248	.314	.271	.287
L1	95k	92k	107k	84k	88k	109k	99k	102k
L2	95k	91k	107k	84k	92k	112k	106k	109k
L4	22k	22k	22k	20k	21k	22k	21k	21k
t.v.v.	19.5	18.5	17.7	20.2	19.0	18.2	19.7	18.3
vit.v.	22.2	22.9	24.0	22.2	22.8	23.9	23.1	23.5
tatt-I	6.64	6.31	7.06	9.16	7.09	8.38	9.46	7.48

Tableau 4. Comparaison des simulations.

CONCLUSIONS

Différents enseignements peuvent être dégagés de ces expérimentations; les statistiques citées, compte tenu du contexte d'application, sont suffisamment évocatrices des mérites respectifs de chacune des simulations. Quelques aspects commandent des commentaires supplémentaires:

1) Il va de soi que, dû à la nature même de l'expérience, les conclusions qui suivent ne sont strictement valides que pour le cas de Montréal et ne peuvent être transposées qu'avec beaucoup de circonspection; toutefois, l'envergure du test assure une certaine "robustesse et vraisemblance" à plusieurs résultats; en effet, dans notre analyse des données d'enquête de 1974 et de 1978, les conclusions sont demeurées très stables.

2) Il est tout à fait clair que, lorsque le territoire et le réseau de transport sont définis à un même niveau de résolution, l'affectation tout-ou-rien est un algorithme très satisfaisant lorsqu'appliqué à la partie des déplacements qui est

effectuée sur le réseau, donc, à l'exclusion de l'accès; en effet, une fonction d'impédance bien calibrée permet de reproduire 80% des itinéraires décrits et peut aller jusqu'à 88% si l'algorithme peut être initié à partir d'un lien plutôt que d'un noeud.

3) Un bon calibrage de la fonction d'impédance est crucial dans l'application d'un algorithme d'affectation. En effet, pour une affectation de zone à zone, la performance de l'algorithme, en termes de coïncidences, est améliorée de 30%. De plus, il semble qu'une des pires fonctions soit justement celle qui est couramment utilisée; le paramètre "I/2" a pour effet d'augmenter considérablement le nombre de sections empruntées, ce biais étant d'autant plus remarquable sur le mode lourd; une conséquence notable de cet algorithme est une surestimation de l'ordre de 12 à 15% de l'achalandage métro; ceci a comme résultante d'encourager l'utilisation d'infrastructures lourdes, sinon, tout au moins, d'en surestimer la capacité nécessaire.

4) Dès qu'on introduit l'accès dans une méthode d'affectation, la performance des résultats se détériore considérablement; le nombre de coïncidences par rapport aux itinéraires décrits chute à des niveaux pitoyables, à savoir de 80 à 40% d'itinéraires égaux ou communs; cependant, en termes des indicateurs agrégés, --et ceci devrait être aussi perçu comme assez inquiétant--, il est possible d'obtenir des valeurs globales très proches des valeurs observées. C'est donc dire qu'il y a de nombreux phénomènes de compensation sur un réseau suffisamment réticulé. Le cas de la simulation "C-Cal" est symptomatique: estimation parfaite du nombre total d'usagers du métro, mais une erreur de plus de 20% sur le nombre de ces voyageurs faisant une correspondance métro-métro; alors, quoi penser des résultats de la simulation avec I/2..."l'entropie à son maximum"!

5) Donc, à l'exclusion du comportement des usagers, c'est surtout le phénomène de l'accès (problème d'agrégation spatiale) qui est la principale source d'erreur d'un modèle d'affectation. En vérité, il faut aussi ajouter les impondérables liés à l'aspect échantillonnal de l'estimation de la demande (problème distinct de représentativité entre la clientèle régulière et occasionnelle, etc...); et ceci devrait pousser le planificateur à accepter des méthodes moins "consistantes intrinsèquement", mais plus adaptées à la réalité des facteurs rigides d'expansion qu'on voudrait voir plus diffus. A cet égard, il nous apparait qu'une certaine réponse réside dans l'emploi d'une méthode d'affectation avec diversion de l'accès, --qui emploie toujours le plus court chemin sur le réseau--, méthode qui peut assouplir l'arbitraire dû à l'agrégation spatiale dont le phénomène sous-jacent --la marche--, en transport en commun, ne semble absolument pas négligeable. Les résultats des deux essais retenus présentent des marges considérables par rapport aux données de référence; en outre, la méthode est plus coûteuse computationnellement; cependant, certaines adaptations à faire, sur le calibrage de la fonction d'impédance, pourraient grandement améliorer les résultats.

En somme, sur la base des données de Montréal, notre expérimentation démontre que, en ce qui concerne les méthodes

d'affectation sur un réseau de transport collectif, le tout-ou-rien semble tout à fait justifié, surtout lorsque l'on procède préalablement à un calibrage adéquat de la fonction d'impédance. Sur la base de ces résultats, nous espérons que les recherches futures, sur les modèles d'affectation, mettent l'emphase sur les problèmes d'agrégation spatiale, aspect non négligeable en transport en commun, et qui pourraient, à notre avis, justifier l'emploi de modèles de diversion.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à souligner la remarquable collaboration du service de la Planification de la Commission de transport de la communauté urbaine de Montréal, qui nous a donné accès à de nombreuses ressources techniques; plus spécialement, nous voulons remercier MM. G. Lafontaine, directeur du service, C. Boucher, surintendant de la division recherches, ainsi que P. Trottier, chargé de projets.

REFERENCES

1. R. B. Dial, Urban Transportation Planning System: Philosophy and Function. TRB, Transportation Research Record 599, 1976, pp. 60-64.

2. M. Florian, R. Chapleau, S. Nguyen, C. Achim, L. James-Lefebvre, S. Galarneau, J. Lefebvre and C. Fisk. Validation and Application of an Equilibrium-Based Two-Mode Urban Transportation Planning Method (EMME). TRB, Transportation Research Record 728, 1979, pp. 14-23.

3. A. Babin, M.Florian, L. James-Lefebvre and H. Spiess. EMME/2, an Interactive Graphic Method for Road and Transit Planning. Public. 204, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1982.

4. A. Last, S.E. Leak. TRANSEPT: A Bus Model. Traffic Engineering and Control, vol. 17, janvier 1976, pp. 14-20.

5. M. Rapp, P. Mattenberger. Planification opérationnelle des transports urbains en commun - approches et applications. Présenté à la conférence mondiale sur la recherche dans les transports, Rotterdam, avril 1977.

6. R. Chapleau, P. Trottier. L'utilisation du modèle d'affectation TRANSCOM dans la planification opérationnelle d'un réseau de transport en commun. Routes et Transport, Association québecoise du transport et des routes, vol. 23, août 1979.

7. R. B. Dial. A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which Obviates Path Enumeration. Transportation Research, Vol. 5, 1971, pp. 83-111.

8. S. Nguyen, L. James. TRAFFIC - An Equilibrium Traffic Assignment Program. Publ. 7, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1975.

9. Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal. Mobilité des Montréalais: 1978. Service de la Planification, juillet 1979.

10. Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal. Méthode d'enquête: enquête régionale O-D. Service de la Planification, avril 1981.

11. R. Chapleau, B. Allard, M. Canova. MADITUC, un modèle de planification opérationnelle adapté aux entreprises de transport en commun de taille moyenne. Présenté au congrès annuel de l'Association des Routes et Transport du Canada, Halifax, sept. 1982, Publ. 265, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal.

Note: des informations plus détaillées peuvent être trouvées dans les documents de recherche suivants:

** J. de Cea, R. Chapleau, P. Trottier. Calibration des coefficients d'impédance et étude du comportement des voyageurs par l'analyse désagrégée de leurs itinéraires sur le réseau de transport en commun. Rapport préliminaire de recherche no. 3, Service de la Planification, C.T.C.U.M., Janv. 1982.

** J. de Cea. Modèles d'affectation de transport collectif urbain: traitement de l'accès et de la diversion entre les chemins. Thèse de doctorat, Section Génie des Transports, Ecole Polytechnique de Montréal, sept. 1982. Publ. du Centre de Recherche en Transport, Université de Montréal.

USER PERCEPTION OF TRANSIT NETWORK CHARACTERISTICS FROM THE VIEWPOINT OF AN ASSIGNMENT MODEL

by
Robert CHAPLEAU, Eng., Ph.D.,
Associate Professor,
Ecole Polytechnique of Montreal,
Box 6079, station "A",
Montreal, PQ
CANADA H3C 3A7

and
Joaquin DE CEA, Eng., Ph.D.,
Professor,
Pontificia Universidad
Catolica de Chile,
Santiago,
CHILE

(Abridged from the French version)

INTRODUCTION

Trip assignment models are important tools for the evaluation of network alternatives in urban transportation systems. The generation of the "best" transit network is usually achieved by heuristic search conducted with the aid of a typical planning package; many packages appropriate for large and complex environments are available: UTPS (1) from U.S.A., EMME/2 (2,3) from Canada, TRANSEPT (4) from England, NOPTS (5) from Switzerland, TRANSCOM (6) from Montreal, etc... These models, despite their own particularities and characteristics, use a similar methodology involving:

- a segmentation of the study territory into small geographic subareas, called zones, for which transport activities are supposed to be concentrated at the centroids;
- a very detailed coding of the network;
- a precise knowledge of transport demand, usually based on an Origin-Destination survey.

In this context, two delicate issues require special expertise from the planner: the explicit or implicit (i.e. modeled) coding of the access links, and the calibration of the impedance function representing user route choice behavior. For the transit case, experience with road traffic assignment models is not helpful in solving these problems; because of the nature of the walking and waiting phases of a transit trip, network loading is more sensitive to spatial aggregation and weighting factors related to the trip components. Furthermore, questions arise about the possible relevance of more sophisticated assignment methods than the all-or-nothing method, such as probabilistic multipath (7) or equilibrium (8) approaches.

To address these preoccupations, a very large empirical study was undertaken, based on the processing of two O/D surveys, each one dealing with some 15 000 individual transit trips made during an a.m. peak period. By making a systematic comparison between the declared route choice of interviewed persons, and the route simulated with a shortest path algorithm, we try to pin-point, in this paper, the sources of error usually connected with the modeling of urban transit

trip assignment.

STUDY LABORATORY

A true "data laboratory" was made available by the Service Planning Department of the Montreal Urban Community Transit Commission. This consists essentially of a data bank based on extensive O/D surveys (9,10) executed at regular intervals of four years, coupled with related spatial data and software packages. The context is best described by the following figures and details.

a) Origin/Destination surveys: a population of near 3 000 000, distributed over a territory of 2 300 square kilometers (partitioned into some 1 284 zones), randomly sampled at a rate of 5 percent, the household being interviewed by telephone. In addition to information related to car ownwership, age and sex of individuals, each trip is described by its origin and destination zones, its departure or arrival time, its purpose (work, study, shopping, leisure, other or return to domicile) and its transport mode (car driver, car passenger, public transit, taxicab, rail, walk). Whenever the transit system is used, the traveler described his path through the network in terms of the bus and metro routes taken.

b) Public transit network: in 1978, the area served by the MUCTC network included 370 square kilometers that were served by 3 subway lines and 131 regular surface routes. Nearly 1 000 nodes must be coded to represent the transfer points, including 43 metro stations. About 5 000 directed links are needed to cover the total network length of 2 240 kilometers.

c) Assignment model: the software packages of the MADITUC-/TRANSCOM (11) suite of programsare used here to achieve automatic access (implicit generation of dummy links between zone centroids and network nodes), to validate the declared paths, to compute shortest paths and to load the passenger trips onto the transit network. Aggregate indicators, relative to the simulations, are then derived.

THE TRANSIT PATH CONCEPT

We focus our attention on the basic concept of a transit PATH --i.e. the path taken by a passenger on a transit network--. Strictly speaking, this is a TRIP made by an individual, described by the following sequence: centroid of an origin zone, access link to an entry node, sequence of lines and tranfer nodes used until an exit node is reached, access link to centroid of a destination zone. For the purposes of the experiment, certain concepts must be defined:

- the response: this is the path as described by the interviewed person at the time of survey, defining only the origin and destination zones with a sequence of transit

lines (L1, L2, ..., Lk), where k is the number of lines used;

- the declared path: a complete path reconstituted from the response and a validation program which determines, from the available information, the most probable access nodes (entry/exit) and transfer nodes; this derived path is then fully compatible with network loading programs;

- the simulated path: a path computed using a shortest path algorithm with a certain impedance function which includes waiting, walking and travel times as well as transfer penalties. The tree-building process can be initiated from a network node as well as from a zone centroid; if desired, the algorithm can take into account combinations of bus routes on links; for this reason, a distinction must also be made between equal paths (same sets of lines), common paths (same sets of nodes but at least one different line) and different paths (at least one node and one line are different).

Two types of paths are distinguished in the basic data when considering a trip between two zones: the simple path, where a single sampled passenger is travelling and the multiple path, where more than one surveyed person travelled from the same origin to the same destination zones. In the last case, the users may or may not use the same line sets, and therefore, the paths are respectively qualified as identical multiple or different multiple.

An analysis was carried out on the 1974 O/D survey data, concerning this last classification. Less than 1% of the potential cells of the O/D matrix contained observations (non-null entries), most of them (85%) being of the simple path variety. These represented 68% of all the surveyed trips. The other O/D pairs with multiple paths behaved with a measured index of "multipathicity" of about 20%. So, from the data, only 6.5% of all the trips would necessitate an assignment model with diversion capabilities.

THE EXPERIMENT

With the help of the available study laboratory, some interesting questions can be explored:

- do the users of a public transit system behave approximately as hypotheses used in an all-or-nothing assignment suggest they should?
- are the reproduction errors due to the choice of used path between two points of the network, or to the choice of different access points? Do the problems depend on the choice of the algorithm, on the calibration of parameters in the impedance function, or on the level of spatial aggregation?

In an attempt to discriminate between the different causes of error, a series of experiments were carried out using the declared paths as references. A simulation model was developed which could generate an assignment of the network

different access strategies to be tried. Furthermore, different user behaviors were tested, using an impedance function taking into account many factors:

- in-vehicle travel time;
- waiting time, subject to a line mean headway, corrected by a regularity factor, limited by maximum and minimum values and to which a transfer penalty is added;
- access time or walk time, characterized by the average walking speed and the distance between the zone centroid and the network access point.

The general formula for the impedance function of a trip embedded in the assignment model is as follows:

$$a0*(TAo+TAd)+\sum_{j=1}^{k}(TVj+a4*\min(\max(a1,a2*Hj),a3)+a5*Pj)$$

where:

k : number of transit lines taken
TAo : access time at the origin
TAd : access time at the destination
TVj : in-vehicle travel time on line j
Hj : mean headway of line j
Pj : transfer penalty related to line j (typical value -tv- = 5 min.)
a0 : access time weighting factor (tv=2) in travel time units
a1 : minimum waiting time (tv= 2 min.)
a2 : conversion factor of headway in waiting time (if perfect regularity, tv = 0.5)
a3 : maximum waiting time (tv = 15 min.)
a4 : waiting time weighting factor (tv = 2)
a5 : perception factor of the transfer penalty (tv = 0.5 for the submode metro)

In this context, the analysis involved five different tests, each comparing the declared paths with a different series of simulated paths.

Test 1: Calibration of the impedance function

The first step involved finding the impedance function coefficients that gave the best results. Many simulations were carried out based on a node to node O/D matrix, as the access problem is excluded at this point.

The efficiency of reproduction of the declared paths can be measured as the maximum number of coincidences, or through the behavior of certain aggregate indices.

At this point, it must be said that the "H+5" simulations gave the best impedance function coefficients. A supplementary test was added, modelling an assignment of the nonreproduced paths with link access instead of node access, so as to better appreciate the error due to the resolution level of

path algorithm, the % of reproduced paths increased from 80% to 88%. Therefore, the use of the all-or-nothing assignment is well justified when the access problem is short-circuited. Table 1 summarizes the most important results of this first test.

Simulation Variable	DECLARED	1 H/2	2 H	3 H/2+5	4 H+5	5 compl
lines/ trip	1.917 (100)	2.110 (110)	1.998 (104)	1.888 (98)	1.875 (98)	1.901 (99)
subway volumes	161k (100)	183k (114)	177k (110)	164k (102)	163k (101)	171k (106)
transfers mét-mét	51k (100)	53k (105)	50k (99)	43k (85)	43k (84)	48k (94)
surface links	419k (100)	458k (109)	430k (103)	414k (99)	411k (98)	407k (97)
%EQUAL paths	--	61.8	67.3	71.4	72.4	72.5
% COMMON	--	7.8	7.6	8.4	7.6	7.7
% DIFFERENT	--	30.4	25.1	20.2	20.0	19.8
r2 TOTAL T	--	.92	.92	.94	.92	.92
r2 OUT-VEH T	--	.59	.71	.83	.83	.83

Table 1. Impact of the impedance function, without access.

Test 2: User behavior study

The second step was an attempt to explain user behavior: do such variables as age, sex, address, trip purpose, travel modes, number of line links have an influence on path reproduction through the impedance function parameters? The sociological variables were found to be insignificant, whereas unimodal metro trips were evidently well reproduced. It was also found that the reproduction error increased with the complexity of a trip; whatever the impedance function tested, there is an almost perfect linear relation between the number of transfers and the percentage of different paths.

Test 3: Testing of a blind access method

As the resolution level of network definition is approximately the same as the zonal system (number of nodes almost equal to the number of centroids for the M.U.C.T.C. territory), it is interesting to test the effect of an assignment method implying totally blind automatic access. To do this, the shortest path algorithm is applied on the O/D pair of nodes which are the closest to the initial centroids.

Test 4: Conventional zone to zone assignment

Normally, trip assignment on a network is worked out from centroid to centroid; most of the time, this implies manual coding of some artificial links, which makes it difficult to standardize and control this activity. With the MADITUC-/TRANSCOM programs, automatic access is modeled and controled by global parameters (maximum distance, walking speed, maximum number of links,...) with possible punctual interventions. An access network having been generated, the shortest path algorithm is applied to find the best path from the origin zone to the destination zone, using the traditional all-or-nothing assignment method.

Test 5: Logit diversion assignment

After splitting the problem into three parts -- access to the origin, routing on the network and access to the destination--, the assignment algorithm is made more sophisticated by expanding the possibilities of origin and destination accesses (1 to 4 different nodes can correspond to one zone of origin or destination). Afterwards, the shortest path algorithm is applied to the No/Nd pairs to determine the different node to node travel times. Then, after regrouping the original paths, the assignment predicts a diversion between the possible alternatives for which the total travel times are now known. A Dial multipath assignment method (logistic function with diversion parameter Θ) is used on this small network.

Moreover, the following table contains the results of two tests: maximum diversion (Θ=0) and the best factor for fitting of the aggregate indicators (Θ=-1.5).

THE RESULTS

The following table contains aggregate indicators corresponding to the complete assignment of the 332 000 (17 000 surveyed paths) morning peak-period trips, on the M.U.C.T.C. network in 1978. The eight best and most typical simulations of each class of situation are given:

'DECLA': the declared paths loading on the network; "H+5" impedance function, unless otherwise stipulated.
'SIMUL': the simulated paths loading from the same origin and destination nodes; calculated by a shortest path algorithm, using the above-mentioned impedance function.
'S-H/2': the simulated paths loading from node to node, using the traditional H/2 impedance function.
'BLIAC': the simulated paths loading from node to node, using blind access assignment.
'C-Cal': the simulated paths loading from centroid to centroid, with access time weight factor equal to 1.0; here, the computed access time is proportional to the distance between the centroid and the access node.
'OCH/2': same as preceding but using the H/2 impedance

function.
'DIV-0': the paths loading with diversion at the access level; diversion factor Θ=0.0 was used here, expanding the 17 442 initial paths to 78 815 paths loading.
'D-1.5': same as preceding, but using a diversion factor Θ of -1.5.

The chosen indicators are of two classes. The first group measures coincidences between the simulated and declared paths. The second group shows the aggregate results of the simulations. The indicators are:

'EQPA': % of equal paths,
'COPA': % of common paths,
'DIPA': % of different paths,
'r2TOT': correlation between total travel times,
'r2OVT': correlation between out-of-vehicle times,
'a.t.t.': average travelling time on the network, in minutes, using the "H+5" impedance function,
'nllink': number of line links taken,
'waitt.': waiting time (minutes),
'dist. ': average distance travelled on the network (km),
'METRO' : total number of passengers using the metro, in thousands (k),
'p.C-MM': proportion of metro-metro transferring passengers,
'L1,L2,L4': number of users respectively using the metro lines 1, 2 and 4,
'i.v.t.': average "in-vehicle" travelling time (minutes),
'v.spe.': average speed of vehicles taken (kmph),
'wait-H': mean sum of headways of lines used (minutes).

variable	base DECLA	node*node SIMUL	node*node S-H/2	BLIAC	zone*zone C-Cal	zone*zone CCH/2	diversion DIV-0	diversion D-1.5
EQPA	--	72.4	61.8	24.3	35.3	26.9	--	--
COPA	--	7.6	7.8	2.4	4.3	4.0	--	--
DIPA	--	20.0	30.4	73.3	60.4	69.1	--	--
r2TOT	--	.92	.92	.67	.74	.81	--	--
r2OVT	--	.83	.59	.29	.41	.26	--	--
a.t.t.	35.7	34.2	35.3	41.2	36.4	38.9	42.3	37.2
nllink	1.92	1.88	2.11	2.37	2.06	2.46	2.63	2.27
waitt.	16.2	15.7	17.6	21.0	17.4	20.7	22.6	18.8
dist.	7.21	7.06	7.07	7.47	7.22	7.25	7.55	7.19
METRO	161k	163k	183k	156k	161k	184k	178k	180k
p.C-MM	.314	.262	.291	.205	.248	.314	.271	.287
L1	95k	92k	107k	84k	88k	109k	99k	102k
L2	95k	91k	107k	84k	92k	112k	106k	109k
L4	22k	22k	22k	20k	21k	22k	21k	21k
i.v.t.	19.5	18.5	17.7	20.2	19.0	18.2	19.7	18.3
v.spe.	22.2	22.9	24.0	22.2	22.8	23.9	23.1	23.5
wait-H	6.64	6.31	7.06	9.16	7.09	8.38	9.46	7.48

Table 2. Comparison of simulations.

CONCLUSIONS

Different lessons can be drawn from these experiments. The mentioned statistics given above establish the respective merits of each of the simulations in this context. However certain points call for further discussion:

(1) It stands to reason that, because of the experiment's nature, the following conclusions are valid strictly for the Montreal case and can only be generalized with extreme caution. However, the comprehensiveness of the test ensures some "robustness and likelihood" to quite a few results; as a matter of fact, the conclusions remained very steady, in the analyses of 1974 and 1978 survey data.

(2) It is clear that, when the territory and transportation network are defined at the same level of resolution, the all-or-nothing assignment algorithm is very satisfying when applied to the part of the trip carried out on the network, i.e. excluding access; a well-calibrated impedance function allows the reproduction of 80% of the declared paths and this can be raised to 88% if the algorithm is initiated from a link instead of a node.

(3) The calibration of the impedance function is critical: the performance of the algorithm in terms of coincidences is improved by 30%, for a zone to zone assignment. In addition, one of the most commonly used functions seems to be one of the worst: the use of an impedance function of H/2 increases substantially the number of transfers, and in this way, results in an overloading of heavy transit modes. As a consequence, this algorithm overestimates by 12 to 15% the number of metro trips, encouraging the use of heavy substructures, or at least, overvaluing their required capacity.

(4) When access is inserted into an assignment method, the results deteriorate considerably: the number of coincidences regarding the declared paths drop from 80% to 40% of common or equal paths. However, in terms of aggregate indicators, it is possible to obtain global values that are very close to the observed values. This is disturbing as it shows that many compensation phenomena exist on a highly ramified network. The 'C-Cal' simulation is characteristic of this problem: it projects a perfect estimate of the total number of metro users but yields an error of more than 20% for the number of passengers transferring from metro to metro. What can be said of the H/2 simulation results?!... "Entropy at its maximum"!

(5) Thus, except for user behavior, the access phenomenon (due to the spatial aggregation problem) is the assignment model's principal source of error. In fact, it seems that only consideration for the imponderables related to the sampling conditions of demand estimation, and external reasons may justify the use of more "diffusing" methods. In some circumstances, a diversion model to soften the arbitrariness inherent in the spatial aggregation context, combined with the use of an all-or-nothing assignment method, may be considered, but unpredic-

table results may occur.

In summary, on the Montreal data base, our experiments show that, among the assignment methods that can be applied on a transit network, the all-or-nothing assignment seems entirely justified, specifically when the impedance function is previously well calibrated. Based on these results, we hope that future research on assignment models emphasizes spatial aggregation problems, an important factor that could justify the use of diversion models.

ACKNOWLEDGMENT

We are very grateful to the personnel of the Service Planning Department (Aménagement du réseau) of the Montreal Urban Community Transit Commission that cooperated in this study. Special acknowledgment is due to MM. G. Lafontaine, Director, C. Boucher, Chief of the Research Division, and P. Trottier, project coordinator.

REFERENCES

1. R. B. Dial, Urban Transportation Planning System: Philosophy and Function. TRB, Transportation Research Record 599, 1976, pp. 60-64.

2. M. Florian, R. Chapleau, S. Nguyen, C. Achim, L. James-Lefebvre, S. Galarneau, J. Lefebvre and C. Fisk. Validation and Application of an Equilibrium-Based Two-Mode Urban Transportation Planning Method (EMME). TRB, Transportation Research Record 728, 1979, pp. 14-23.

3. A. Babin, M.Florian, L. James-Lefebvre and H. Spiess. EMME/2, an Interactive Graphic Method for Road and Transit Planning. Public. 204, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1982.

4. A. Last, S.E. Leak. TRANSEPT: A Bus Model. Traffic Engineering and Control, vol. 17, January 1976, pp. 14-20.

5. M. Rapp, P. Mattenberger. Planification opérationnelle des transports urbains en commun - approches et applications. Presented at the World Conference on Transportation Research, Rotterdam, April 1977.

6. R. Chapleau, P. Trottier. L'utilisation du modèle d'affectation TRANSCOM dans la planification opérationnelle d'un réseau de transport en commun. Routes et Transport, Association québecoise du transport et des routes, vol. 23, August 1979.

7. R. B. Dial. A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which Obviates Path Enumeration. Transportation Research, Vol. 5, 1971, pp. 83-111.

8. S. Nguyen, L. James. TRAFFIC - An Equilibrium Traffic Assignment Program. Publ. 7, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, 1975.

9. Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal. Mobilité des Montréalais: 1978. Service de la Planification, July 1979.

10. Commission de transport de la Communauté urbaine de Montréal. Méthode d'enquête: enquête régionale O-D. Service de la Planification, April 1981.

11. R. Chapleau, B. Allard, M. Canova. MADITUC, un modèle de planification opérationnelle adapté aux entreprises de transport en commun de taille moyenne. Presented at the Roads and Transportation Association of Canada annual meeting, Halifax, Sept. 1982, Publ. 265, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal.

Remark: more detailed information is available from the following research documents:

** J. de Cea, R. Chapleau, P. Trottier. Calibration des coefficients d'impédance et étude du comportement des voyageurs par l'analyse désagrégée de leurs itinéraires sur le réseau de transport en commun. Rapport préliminaire de recherche no. 3, Service de la Planification, C.T.C.U.M., January 1982.

** J. de Cea. Modèles d'affectation de transport collectif urbain: traitement de l'accès et de la diversion entre les chemins. Doctorate thesis, Section Génie des Transports, Ecole Polytechnique de Montréal, Sept. 1982. Publ. 265 Centre de Recherche en Transport, Université de Montréal.